

METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR QUANTUM DOT

Patent number: JP11297625
Publication date: 1999-10-29
Inventor: EZAKI MIGAKU; OKUDA MASAHIRO
Applicant: CANON INC
Classification:
- international: H01L21/203; H01L21/20; H01L29/06
- european:
Application number: JP19980105057 19980415
Priority number(s):

Abstract of JP11297625

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for preparing semiconductor quantum dots regularly arranged on a substrate in a uniform size.

SOLUTION: This method for preparing semiconductor quantum dots has a process for preparing a porous aluminum substrate 1 on which many cylindrical micro-holes are regularly arrayed by anode oxidation of an Al substrate and a process for preparing quantum dots 5 constituted of a second semiconductor whose lattice constant is different from that of the first semiconductor on a substrate 2 constituted of the first semiconductor by using the porous aluminum substrate 1 as a mask.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Patent Abstracts of Japan

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-297625

(43) 公開日 平成11年(1999)10月29日

(51) Int. Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/203

H 0 1 L 21/203

M

21/20

21/20

29/06

29/06

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平10-105057

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(22) 出願日

平成10年(1998)4月15日

(72) 発明者 江崎 琢

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノ

ン株式会社内

(72) 発明者 奥田 昌宏

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノ

ン株式会社内

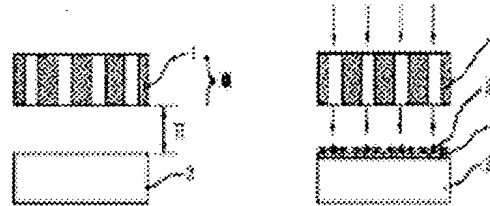
(74) 代理人 弁護士 福森 久夫

(54) 【発明の名称】 半導体量子ドットの作製方法

(57) 【要約】

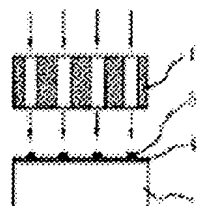
【課題】 基板上に規則正しく配列され、かつ、大きさの揃った半導体量子ドットの作製方法を提供する。

【解決手段】 本発明の半導体量子ドットの作製方法は、A) 基板を陽極酸化して多数の円柱状細孔が規則的に配列された多孔質アルミナ基板を作製する工程と、該多孔質アルミナ基板をマスクとして用い、第一の半導体からなる薄膜上に、該第一の半導体と格子定数の異なる第二の半導体からなる量子ドットを作製する工程とを有することを特徴とする。



(a)

(b)



(e)

(f)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 Al 基板を陽極酸化して多数の円柱状細孔が規則的に配列された多孔質アルミナ基板を作製する工程と、該多孔質アルミナ基板をマスクとして用い、第一の半導体からなる基板の上に、該第一の半導体と格子定数の異なる第二の半導体からなる量子ドットを作製する工程とを有することを特徴とする半導体量子ドットの作製方法。

【請求項 2】 前記多孔質アルミナ基板を作製する工程は、Al 基板を陽極酸化する工程と、該 Al 基板の表面に陽極酸化初期に作られた規則的ではない孔がある領域、該 Al 基板の陽極酸化で形成された細孔より下にあるアルミナ層の領域、及び、該アルミナ層の下にある Al からなる領域、を除去する工程と、から構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体量子ドットの作製方法。

【請求項 3】 前記量子ドットを作製する工程において前記第二の半導体を成長させる方法は、MBE(Molecular Beam Epitaxy)法、CBE(Chemical Beam Epitaxy)法、MOMBE(Metal-Organic Molecular Beam Epitaxy)法のいずれか一つであることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体量子ドットの作製方法。

【請求項 4】 前記量子ドットを作製する工程において前記第一の半導体からなる基板の上に前記第二の半導体を成長させるとき、前記多孔質アルミナ基板からなるマスクと該第一の半導体からなる基板との間に、該第二の半導体からなる成長層の厚さより大きな間隙を設けたことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体量子ドットの作製方法。

【請求項 5】 前記量子ドットを作製する工程において前記第一の半導体からなる基板の上に前記第二の半導体を成長させるとき、前記多孔質アルミナ基板からなるマスクと該第一の半導体からなる基板との間を、密着させたことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体量子ドットの作製方法。

【請求項 6】 前記多孔質アルミナ基板の細孔の径を、作製する量子ドットの径に比べて十分大きくし、該量子ドットが該多孔質アルミナ基板の細孔の径より小さいうちに、該量子ドットの形成を終了することを特徴とする請求項 5 に記載の半導体量子ドットの作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体量子ドットの作製方法に係る。より詳細には、基板上に規則正しく配列され、かつ、大きさの揃った量子ドット構造を形成することが可能な半導体量子ドットの作製方法に関する。特に、本発明は、量子効果を利用した電子デバイス及び光デバイスの高機能化並びに高性能化に寄与するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、電子や光を 3 次元的に閉じ込める、大きさが数 nm ～ 数十 nm の量子ドット構造を用いた従来の電子デバイス及び光デバイスの高機能化や、該量子ドット構造による量子効果を利用した新しい機能デバイスの開発が期待されている。

【0003】 このような量子ドット構造を作製する方法としては、例えば、半導体基板上に、基板を構成する半導体と格子定数の異なる半導体を自己形成的に形成させる方法が知られている。この方法は、成長させる半導体の格子定数が基板を構成する半導体の格子定数と異なることに起因した、二種の半導体界面における応力の作用により、自然に成長させる半導体がドット形状となる現象を利用している。

【0004】 上記自己形成法によって量子ドット構造を作製した例としては、GaAs 上に InAs の量子ドットを成長させた例 (Applied Physics Letters, 第 64 巻、186 ページ (1994))、GaAs 上に InGaAs の量子ドットを成長させた例 (Applied Physics Letters, 第 63 巻、3203 ページ (1993))、AlGaIn 上に GaIn の量子ドットを成長させた例 (Applied Physics Letters, 第 69 巻、4096 ページ (1996)) などが報告されている。

【0005】 上述した自己形成法で形成される量子ドットは、次に挙げるような利点がある。

- (1) 一回の成長で量子ドット構造を形成できる。
- (2) 成長前の基板の微細加工など特別な前処理が不要。

(3) 成長後にドット作製のための微細加工が不要。

(4) 量子ドットの形成過程は成長する半導体を構成する原子の結合エネルギーによって規定されるので、大きさの揃った量子ドットが形成される。

【0006】 つまり、自己形成法は、簡単な工程で、加工損傷を受けない、良質で、かつ大きさの揃った量子ドット構造を作製できるという特徴がある。

【0007】 しかしながら、自己形成法によって量子ドットを半導体基板上に形成する場合には、個々の量子ドットは大きさの揃ったものが形成されるが、それが半導体基板上のどの場所に形成されるかは制御できない、という問題があった。

【0008】 量子ドット構造を電子デバイスや光デバイスに応用する場合、量子効果を十分に活かすために、あるいはデバイスの性能を安定させるために、量子ドット個々の大きさを揃えるのはもちろんのこと、さらに量子ドットの形成される位置を制御する必要がある。従って、量子ドットの形成される位置を制御する方法の開発が望まれていた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、基板上に規則正しく配列され、かつ、大きさの揃った半導体量子ドットの作製方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体量子ドットの作製方法は、Al基板を陽極酸化して多数の円柱状細孔が規則的に配列された多孔質アルミナ基板を作製する工程と、該多孔質アルミナ基板をマスクとして用い、第一の半導体からなる基板の上に、該第一の半導体と格子定数の異なる第二の半導体からなる量子ドットを作製する工程とを有することを特徴としている。

【0011】上記構成では、第一の半導体からなる基板の上に量子ドットを作製する際、第一の半導体からなる基板の上に、円柱状細孔が規則的に配置された多孔質アルミナ基板をマスクとして設置した。これによって、規則的に配列の円柱状細孔の場所に応じた第一の半導体からなる基板の位置に、第一の半導体からなる基板と格子定数の異なる第二の半導体を成長させることができる。その結果、第二の半導体の自己形成作用によって形成される大きさの揃った量子ドットを、基板上に規則正しく配列した状態で作製することが可能な、半導体量子ドットの作製方法が得られる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下では、本発明に係る半導体量子ドットの作製方法の実施の形態について詳述する。

【0013】（第1の実施の形態）図1及び2は、本発明に係る第1の実施の形態を示す図面である。図1は、MBE法を用い、量子ドットを作製する方法を示す模式的な断面図である。図2は、本発明に係る多孔質アルミナ基板を作製する方法を示す模式的な断面図である。

【0014】以下では、本実施の形態に係る作製方法を、作製手順に従って述べる。括弧付きの番号は、作業手順を示す。

【0015】まず本発明で用いる多孔質アルミナ基板の作製方法について、図2を用いて説明する。

【0016】（1）Al基板7を硫酸などの二塩酸中で陽極酸化した。これによって、Alが酸化されると同時にエッチングされ、図2（b）に示すところのアルミナ層9中に細孔8が規則正しく存在するような多孔質アルミナ層9を形成した。

【0017】形成された細孔8の直径は数nm～数百nmの非常に微細であり、均一性も優れていた。また、細孔8の配列は図2（c）に示すような形態であり、細孔8の間隔も数nm～数百nmとなり、非常に良い規則性と均一性を有していた。この細孔8の径と間隔の値は、陽極酸化をする際の電圧、電流を調整することで制御可能である。このようなAlの陽極酸化については例えば(NATURE Vol.337, P.147 (1989))等に記載されている。

【0018】（2）上記（1）で作製した多孔質アルミナ層9を有する基板は、その表面に陽極酸化初期に作られた規則的でない孔の領域8'が存在し、また細孔8の底より下の部分には一面にアルミナ層9'が、さらにその下にはAl層10が存在するので、これら表面と底部部分をエッチングもしくは研磨等により取り除いた。

【0019】以上の工程により、図2（d）に示すような、数nm～数百nmの径のアルミナ層を貫通した細孔を、数nm～数百nmの間隔で規則正しく配列した多孔質アルミナ基板1を作製した。

【0020】次に、量子ドットを作製する方法について、図1を用いて説明する。

【0021】（3）上記（2）で得られた多孔質アルミナ基板1を、図1（a）に示すように、第一の半導体からなる基板2の量子ドットを作製する面の上部に、第一の半導体からなる基板2に成長させる成長層の厚さよりも大きい隙間Hをあけて設置した。ここでは、第一の半導体としてGaAsを用いた。その際、多孔質アルミナ基板1は、第一の半導体からなる基板2に直接スペーサなどを介して設置しても良いし、あるいは第一の半導体からなる基板を成長装置に固定された基板ホルダーに設置しても構わない。また、第一の半導体からなる基板2は、バルク半導体でも、エピタキシャル成長させた成長層でも良い。

【0022】（4）図1（a）に示すように、MBE法による量子ドットの成長装置（不図示）内において、多孔質アルミナ基板1が、第一の半導体からなる基板2の上に形成する第二の半導体の成長マスクとなるように設置した。

【0023】（5）多孔質アルミナ基板1を通して、第一の半導体からなる基板2と格子定数の異なる第二の半導体の原料3であるInAsを供給した。

【0024】図1（b）に示すように、原料供給初期には多孔質アルミナ基板1の細孔を通して第一の半導体からなる基板2の上に到達した第二の半導体の原料3は、第一の半導体からなる基板2の上でマイグレーションする。その結果、第一の半導体からなる基板2の上面に第二の半導体からなる成長層4が数原子層（通常1～3原子層）が成長する。この成長層4は、自己形成量子ドットが形成される前段階であり、めれ層4と呼称される。

【0025】（6）さらに、多孔質アルミナ基板1を通して第二の半導体の原料3であるInAsを供給することにより、このめれ層4の上に、第二の半導体からなる量子ドット5が自己形成された【図1（c）】。その際、第二の半導体の原料3は多孔質アルミナ基板1の細孔を通して供給されるため、第二の半導体の自己形成量子ドットは多孔質アルミナ基板1の細孔の直下に形成される。すなわち、規則正しく配列されている多孔質アルミナ基板1の細孔の位置を反映して、規則正しく配列され、かつ自己形成作用により大きさも揃った半導体量子ドット5が形成された。

【0026】（7）所望の大きさの第二の半導体からなる量子ドット5の成長を終えたら、多孔質アルミナ基板1を成長室内あるいは成長室外で取り去った。その後、量子ドットの成長を終えた基板上に、さらに第一の半導

体からなる埋め込み層6を形成することで、規則正しく配列され、かつ大ききの揃った半導体量子ドット構造を作製した【図1(d)】。

【0027】(第2の実施の形態) 図3は、本発明に係る第2の実施の形態を示す断面図であり、MBE法を用い、量子ドットを作製する方法を示す模式的な断面図である。

【0028】本実施の形態は、MBE法を用い量子ドットを作製する際に、多孔質アルミナ基板1からなるマスクと第一の半導体からなる基板2との間を密着させた点が、第1の実施の形態と異なる。多孔質アルミナ基板1としては、第1の実施の形態において作製したものをを用いた。

【0029】以下では、本実施の形態に係る作製方法を、作製手順に従って述べる。括弧付きの番号は、作業手順を示す。

【0030】(1) 図3(a)に示すように、第一の半導体からなる基板2において、GaAsからなる量子ドットを作製する面上に、多孔質アルミナ基板1を設置した。その際、多孔質アルミナ基板1の細孔の径は、作製しようとする半導体量子ドットの径よりも十分大きくした。

【0031】(2) 多孔質アルミナ基板1を通して、第一の半導体からなる基板2と格子定数の異なる第二の半導体の原料であるInAsを供給した。その結果、成長初期には多孔質アルミナ基板1の細孔部分に相当する、第一の半導体からなる基板2の上に一樣に第二の半導体が数原子層(1~3原子層)成長し、めれ層4が形成された【図3(b)】。

【0032】(3) さらに、多孔質アルミナ基板1を通して第二の半導体の原料であるInAsを供給することにより、このめれ層4の上に、第二の半導体からなる量子ドット5が自己形成された【図3(b)】。その際、この自己形成された量子ドット5が多孔質アルミナ基板1の細孔の大きさより小さい内に量子ドットの形成を終了することで、大ききのそろった量子ドットが得られた。

【0033】(4) 所望の大きさの第二の半導体からなる量子ドット5の成長を終えたら、多孔質アルミナ基板1を成長室内あるいは成長室外で取り去った。その後、量子ドットの成長を終えた基板2上に、さらに第一の半導体からなる埋め込み層6を形成することで、規則正しく配列され、かつ大ききの揃った半導体量子ドット構造が得られた【図3(c)】。

【0034】なお、上述した2つの実施の形態では第一の半導体をGaAs、第二の半導体をInAsとしたが、これらに代えて、第一の半導体をGaAs、第二の半導体をInGaAsとした場合、また第一の半導体をAlGaIn、第二の半導体をGaInとした場合、また第一の半導体をGaIn、第二の半導体をInGaInとした

場合でも、上記方法を適用することにより良好な量子ドット構造が形成できた。

【0035】また、上述した2つの実施の形態では量子ドットの成長法としてMBE法を用いたが、この代わりにCBE法又はMOCBE法を用いても、同様の結果が得られることが分かった。

【0036】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る半導体量子ドットを作製方法では、半導体量子ドットの配列は、量子ドットを作製する際に、陽極酸化で得られた規則正しく均一な細孔を備えた多孔質アルミナ基板をマスクとして利用することによって決定し、また半導体量子ドットの大ききは格子定数の異なる半導体を成長する際の量子ドット自己形成作用を利用して決定する。これにより、従来の量子ドット構造に比べて、規則的に制御された配列と均一な大ききとを合わせ持つ半導体量子ドット構造が得られる半導体量子ドットを作製方法の提供が可能となる。

【0037】また、本発明によれば、半導体量子ドット構造の配列が制御できるので、従来より高密度な量子ドットが容易に作製できる。

【0038】従って、本発明に係る方法で作製した量子ドット構造を、例えば半導体レーザーに適用すれば、閾値電流の低下、特性の安定化、利得の向上などの高性能化が図れる。

【0039】さらに、本発明は、電子や光の閉じ込め効果及び量子効果を利用した、演算素子等の作製にも適用できることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る量子ドットを作製する方法の一例を示す模式的な断面図である。

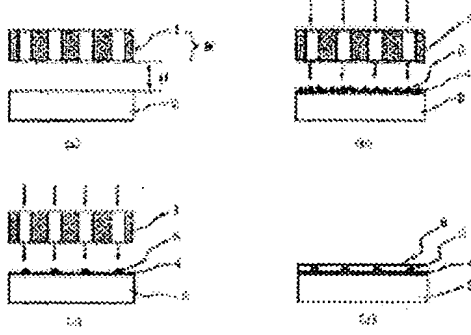
【図2】本発明に係る多孔質アルミナ基板を作製する方法を示す模式的な断面図である。

【図3】本発明に係る量子ドットを作製する方法の他の一例を示す模式的な断面図である。

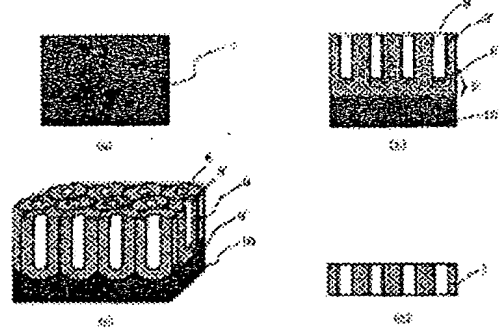
【符号の説明】

- 1 多孔質アルミナ基板、
- 2 第一の半導体からなる基板、
- 3 第二の半導体の原料、
- 4 第二の半導体からなるめれ層、
- 5 第二の半導体からなる量子ドット、
- 6 第一の半導体からなる埋め込み層、
- 7 Al基板、
- 8 細孔、
- 8' Al基板7の表面に陽極酸化初期に作られた規則的でない孔の領域、
- 9 アルミナ層、
- 9' 細孔8の底より下の部分に一面にあるアルミナ層、
- 10 Al層、

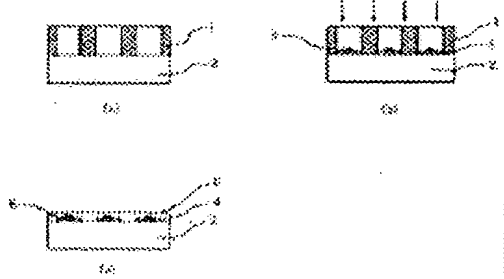
【図1】



【図2】



【図3】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.